ChinaXiv合作期刊

心理科学进展 2023, Vol. 31, No. 10, 1775–1784
Advances in Psychological Science
© 2023 中国科学院心理研究所
https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2023.01775

·研究构想(Conceptual Framework)·

超重/肥胖个体工作记忆的神经机制及干预*

刘 永[1,2] 陈 红[1,2,3]

([1]西南大学心理学部; [2]西南大学认知与人格教育部重点实验室;
[3]西南大学心理学与社会发展研究中心, 重庆 400715)

摘 要 全球超重/肥胖人群增长迅猛, 1997年世界卫生组织将肥胖认定为全球性流行病。目前, 中国成年人的超重/肥胖发生率已超过50%, 不健康的饮食行为占肥胖成因的70%。本项目拟从食物特异工作记忆切入, 探明超重/肥胖个体食物特异工作记忆的神经机制, 以及与一般工作记忆神经机制的差异。再采用前瞻性的研究设计, 考察食物特异工作记忆与超重/肥胖发展的渐变关系, 探索食物特异工作记忆及其神经活动对个体饮食管理和体质变化的预测作用。最后, 采用食物特异抑制控制训练, 提升超重/肥胖个体的食物特异工作记忆能力, 塑造健康饮食行为。本项目旨在探索塑造健康饮食行为的安全及有效的方法, 为超重/肥胖的预防和干预提供理论和实践建议, 具有现实性、前沿性和前瞻性。

关键词 工作记忆, 认知控制, 超重/肥胖, 认知神经机制, 干预
分类号 B845

1 研究意义

我国“十四五”科技规划纲要第十三篇《提升国民素质, 促进人的全面发展》中指出: “广泛开展全民健身运动, 增强人民体质”。体质健康问题正成为国家和社会重点关注的问题之一。随着我国经济的快速发展, 人们物质生活水平的迅速提高, 中国人的超重和肥胖发生率正以令人担忧的速度增加。2014年柳叶刀(*The Lancet*)发表的关于中国肥胖现状与健康关系的研究报告显示, 男性和女性的肥胖发生率分别为3.8%和5.0%, 肥胖人口仅次于美国(Ng et al., 2014), 2019年中国疾病控制与预防中心对全国各省份的肥胖发生率进行研究, 发现成年人全身性肥胖(BMI≥28 kg/m^2)的发生率为14%, 腹部肥胖(男性腰围≥90 cm; 女性腰围≥85 cm)的发生率为31.5% (Meng et al., 2020)。超重/肥胖问题正在给中国的卫生系统增加负担。因此, 如何有效控制超重/肥胖的发生是当今中国面临的一个严峻而且现实的问题。健康中国行动推进委员会在《健康中国计划2020−2030》中明确提出了“合理膳食”行动与“肥胖增长率持续减缓”的目标。合理膳食不仅强调营养结构, 更加侧重健康饮食方式。以往研究显示肥胖个体的奖赏相关脑区对食物线索有过度激活, 而抑制控制相关脑区对食物线索的抑制能力不足(Meng et al., 2020; Stice & Burger, 2019)。系统元分析研究显示, 肥胖个体存在普遍的执行功能缺陷, 包括抑制控制、工作记忆、认知灵活性和决策等, 而超重个体仅在工作记忆和抑制控制上表现出一定的缺陷(Yang et al., 2018)。所以, 工作记忆和抑制控制可能是检测体重问题的有效指标。

工作记忆是指在短时间内对头脑中的信息进行保持和操作的能力(Diamond, 2013)。工作记忆与成功的自我控制和参与目标导向的行为能力密切相关(Hofmann et al., 2012)。较强的工作记忆能力可以使个体坚持将健康饮食作为长期目标, 将注意力引导到该目标上, 从而抵制短期的诱惑(Dohle et al., 2018)。较强工作记忆与自我报告食用较多的水果和蔬菜(Allom & Mullan, 2014)以及在实验任务中选择低热量食物有关(Whitelock et al., 2018)。所以, 工作记忆在健康饮食行为中起

收稿日期: 2023-03-06
* 国家自然科学基金青年项目(32200849)。
通信作者: 刘永, E-mail: liuy0768@swu.edu.cn

chinaXiv:202310.00231v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202310.00231v1

着十分重要的作用。

本项目拟以工作记忆为研究突破口，聚焦刷新能力，探明超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新的神经机制；并进一步通过横断和前瞻性研究设计，探索食物特异工作记忆刷新及其神经基础与超重/肥胖发展的渐变关系；最后，采用抑制控制训练，力图提升超重/肥胖个体的食物特异工作记忆刷新能力，塑造健康饮食行为。本项目具有现实性、前沿性和前瞻性，为超重/肥胖的预防和干预提供理论和实践建议，对健康中国战略的顺利推进有重要的意义。

2 研究现状及发展动态分析

2.1 超重/肥胖个体的工作记忆

工作记忆是指对头脑中的信息进行保持和操作的能力，内容上分为言语工作记忆和非言语工作记忆，它对我们理解看似不相关事物间的联系和从整体中分离个别元素至关重要(Diamond, 2013)。元分析研究发现，肥胖会对工作记忆造成损害，且这种损害具有跨研究的稳定性，而且超重者已表现出工作记忆的受损(Yang et al., 2018)，暗示工作记忆可能是受 BMI (Body Mass Index, BMI)影响比较灵敏的指标。

行为证据显示使用多种实验任务均发现超重/肥胖个体的工作记忆表现显著差于正常体重个体(Goldschmidt et al., 2017; Loeber et al., 2012)。关于工作记忆的事件相关电位(Event-related potential, ERP)研究主要集中对 N2、P3 和 LPP (Late Positive Potential, LPP)等 ERP 成分的探讨。超重/肥胖个体在食物特异执行功能任务中会诱发较小的 N2，较大的 P3 和 LPP 成分(Liu et al., 2020; Liu, Quan et al., 2019; Liu, Zhao et al., 2019)。此外，当个体考虑到进食高热量食物的长期结果时，LPP 的振幅则会增大(Meule et al., 2013)。工作记忆任务中记忆食物线索时会诱发较大的 P3, LPP 和 SPCN (Sustained Posterior Contralateral Negativity)反应，说明对食物线索的记忆和保持需要分配较多的认知资源(Rutters et al., 2015)。食物线索诱发较大 LPP 的个体报告较多的食物成瘾症状(Delgado-Rodríguez et al., 2022)。工作记忆的神经振荡研究主要集中对 theta (4~8 Hz)、alpha (8~13 Hz)、beta (13~30 Hz)和 gamma (>30 Hz)的探讨(Miller et al., 2018)。在工作记忆的保持过程中，theta 能量随记忆负荷的增加而增大，而且 theta 能量与记忆的数量呈正比(Gevins et al., 1997; Raghavachari et al., 2001)。在工作记忆的过程中，alpha 节律主要负责抑制无关刺激的干扰，随着工作记忆项目数量的增加，alpha 节律也会随之增大，可能是为了保护工作记忆目标信息免受无关刺激的干扰(Bonnefond & Jensen, 2012; Jensen et al., 2002; Spitzer et al., 2014)。较低的 beta 则与工作记忆维持有关(Kopell et al., 2011; Salazar et al., 2012)，当任务中工作记忆结束后，不再要求被试进行工作记忆时，前额叶皮层的 beta 增大(Lundqvist et al., 2018)。Beta 与信息的自上而下的加工和抑制有关，且 beta 位于深部脑区(Miller et al., 2018)。Gamma 位于大脑表层脑区，反映自下而上的信息加工，与工作记忆中信息输入的保持有关。研究显示 gamma、alpha 和 beta 振荡与感觉皮层和额顶网络信息传递过程的关系，对揭示工作记忆的神经机制起关键的作用(库逸轩, 2019)。然而，对超重/肥胖个体工作记忆(尤其食物特异工作记忆)神经振荡的研究较少。

功能核磁共振(fMRI)研究发现工作记忆主要依赖于前额叶皮层以及顶叶区，这些区域的激活有助于特定内容的保持和加工(Cohen et al., 1997; Lamichhane et al., 2020; Li et al., 2017; Miller & Cohen, 2001; Perlstein et al., 2003)。研究发现后顶叶皮层(posterior parietal cortex)和额叶皮层(prefrontal cortex)分别参与视觉工作记忆中的注意范围和注意控制，强调了额叶和顶叶在视觉工作记忆中的分离作用(Li et al., 2017)。在工作记忆更新任务中，超重/肥胖个体表现出更长的反应时长和更低的正确率，其右背外侧前额皮层(DLPFC)活动和 BMI 成正相关，说明超重/肥胖个体更差的工作记忆更新表现可能与减弱的抑制控制能力有关 (Stingl et al., 2012)。在执行功能任务中，超重/肥胖个体外侧前额叶皮层、腹外侧前额皮层、内侧前额皮层、额上回和额中回等控制相关脑区的的激活较低(Batterink et al., 2010; Janssen et al., 2017)。当超重/肥胖个体观看不健康食物广告时，其双侧额中皮层和额下皮层的激活较低，说明超重/肥胖个体更易受广告等诱惑的影响(Bruce et al., 2013)。在静息状态下超重/肥胖个体右侧角回的活动显著小于正常体重个体，而且

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202310.00231v1

超重/肥胖个体右侧角回与左中侧颞叶皮层的功能连接也显著小于正常体重个体(Zhao et al., 2022)。

目前对超重/肥胖个体工作记忆的研究较多围绕一般刺激的工作记忆开展, 且有相对统一的结论：超重/肥胖个体一般刺激的工作记忆存在普遍下降。但是针对超重/肥胖个体食物特异的工作记忆研究则相对缺乏。研究显示得到更多注意的线索, 其工作记忆则较弱(Fu et al., 2021)。由于超重/肥胖个体对食物线索需要分配更多的注意和认知资源, 所以超重/肥胖个体的食物特异工作记忆是否比一般刺激的工作记忆受损更严重？此外, 现存研究多为行为实验, 超重/肥胖个体食物特异的工作记忆的神经机制、神经基础还属于未知。因此, 本项目的第一部分拟采用横断研究设计, 结合脑电技术从时间动态和神经振荡的视角重点探讨超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新的神经电生理机制, 并比较超重/肥胖个体一般刺激和食物特异的工作记忆刷新是否具有相同的行为和神经模式。

2.2　工作记忆对饮食行为和体重管理的预测

工作记忆刷新是饮食行为的关键因素之一, 有助于个体坚持健康饮食等长期目标, 从而抵制与长期目标不一致的短期愿望。高工作记忆刷新能力可以使个体有效地表征一个给定的长期目标, 通过保持目标相关信息或抑制与长期目标不一致的信息, 将注意力从诱人的刺激物转移。所以, 在诱惑的环境下, 如果长期目标得到“保护”, 诱惑的欲望则会得到有效的下调(Dohle et al., 2018; Hofmann et al., 2008)。一般线索的视觉空间工作记忆广度越大, 节食个体高热量食物摄入的比例就越低(Whitelock et al., 2018), 说明一般工作记忆可以促进节食个体的饮食管理。在有健康饮食目标的个体中, 工作记忆刷新信息的能力与更频繁地食用水果和蔬菜的健康长期结果有关(Allom & Mullan, 2014)。所以, 较强的工作记忆刷新能力可能会促进健康饮食行为的养成。因此, 本项目中我们重点考察工作记忆刷新能力(采用 n-back 任务)与饮食行为的关系。

Lopez 等人使用前瞻性的研究方法, 探索脑区活动对个体饮食管理的预测作用。节食者完成食物线索的核磁扫描后, 在未来一周里对被试的饮食管理进行经验抽样调查, 每天随机选取 7 个时间点进行调查, 主要对被试当前的食物渴求、抵制渴求的程度和进食量等进行调查。研究发现较强奖赏脑区活动(伏隔核)预测较差的饮食管理, 而较强的控制脑区活动(额下回)预测较成功的饮食管理, 说明奖赏和控制的神经活动在现实生活的诱惑体验中有重要的作用(Lopez et al., 2017; Lopez et al., 2014; Lopez et al., 2016)。对食物线索自上而下的注意可以预测个体未来一年体重的变化(Kaisari et al., 2019)。脑岛、腹侧被盖区、壳核和梭状回等奖赏相关脑区较大的激活预测超重/肥胖个体 9 个月后较低的体重维持成功率(Murdaugh et al., 2012)。杏仁核和眶额叶皮层等脑区的活动也可以预测超重/肥胖个体未来的体重变化(Killgore et al., 2013; Yokum et al., 2011)。

本项目第二部分使用前瞻性的研究设计, 从空间大脑激活的视角考察食物特异工作记忆刷新能力及其神经基础与个体饮食管理和体质变化之间的渐变关系, 探讨食物特异工作记忆刷新能力及其神经基础对个体饮食管理和体质变化的预测作用。

2.3　抑制控制、工作记忆和饮食行为

抑制控制是指个体抑制自身优势反应的一种能力。抑制控制涉及控制个体的注意、行为、思想或情绪的能力。如果没有抑制控制, 我们将更加冲动(Diamond, 2013)。此外, 抑制控制有利于工作记忆, 当多个想法或事实需要同时陈述时, 就需要把所有的信息进行重组, 使用创新的方法进行表述。当关注自己关心的问题时, 就需要抑制内外界其他信息的干扰(Allom & Mullan, 2014)。抑制控制可以通过抑制外界想法(抑制不相关的信息进入工作记忆空间中), 也可以通过删除工作空间中不再有用的信息, 使我们的心理工作空间(mental workspace)保持干净(Zacks & Hasher, 2006; Hasher & Zacks, 1988)。工作记忆的个体差异主要反映了个体控制能力的不同(Barrett et al., 2004; Engle, 2018)。工作记忆与抑制特定信息的能力有关, 这种抑制能力直接决定了复杂工作记忆任务的表现(Gazzaley et al., 2005; Vogel et al., 2005), 如果不能有效抑制任务无关信息的表征, 工作记忆任务的表现将受到严重损害(Gazzaley et al., 2005)。

一项元分析综述了 66 项独立实验, 覆盖 5787 人的数据, 考察认知训练对个体饮食行为和体重的影响。结果显示抑制控制训练(如, 对食物刺激的 go/no-go 训练)可以有效改善个体的饮食行为

ChinaXiv合作期刊

(Yang et al., 2019)。抑制控制训练还可以降低个体的食物渴求，食物特异的抑制控制训练可以促进对不想要的食物相关冲动的抑制控制。例如，Houben 等人(2015)将被试随机分配到食物 no-go 训练和食物 go 训练中，研究发现食物 no-go 训练可以显著降低个体的进食渴望(Houben & Jansen, 2015)。采用食物特异的抑制控制训练和一般刺激的抑制控制训练(每天约 10 分钟，连续干预 1 周)对失败限制性饮食个体进行干预发现，食物特异的抑制控制训练可以显著降低失败限制性饮食个体的对不健康食物的选择频率以及对不健康食物自我报告的吸引力和喜爱程度(刘豫 等, 2017)。

由于抑制控制可以有效促进工作记忆，而且食物特异抑制控制训练可以改善个体的饮食行为。因此，本项目的第三部分拟采用食物特异抑制控制训练的方法，对超重/肥胖个体进行干预训练，以期增强超重/肥胖个体的食物特异工作记忆，促进其健康饮食行为的养成。

3 问题提出

本项目拟从工作记忆的视角理解超重/肥胖执行功能的损伤，并以此为靶点通过食物抑制控制训练改善超重/肥胖个体的食物特异工作记忆刷新能力，从而塑造健康的饮食方式。围绕此提出以下问题：

第一，目前关于超重/肥胖个体工作记忆的研究大多数是行为层面的，仍不清楚超重/肥胖个体工作记忆刷新的认知神经机制。此外，以往研究主要关注一般刺激的工作记忆，食物线索对超重/肥胖个体工作记忆影响如何尚未探明？一般刺激和食物特异工作记忆刷新在超重/肥胖个体中是否表现出相同的行为和神经模式？基于此问题，本项目拟首先解决的关键科学问题是探明超重/肥胖个体工作记忆刷新的认知神经机制。

第二，一般线索的视觉空间工作记忆广度越大，节食个体高热量食物摄入的比例就越低(Whitelock et al., 2018)，说明一般工作记忆可以促进节食个体的饮食管理。那么食物特异的工作记忆刷新如何影响超重/肥胖个体未来的饮食管理呢？食物特异的工作记忆刷新又能否预测超重/肥胖个体的体质变化呢？基于此，本项目拟解决的第二个关键科学问题是刻画食物特异工作记忆刷新及其脑活动与超重/肥胖发展的渐变关系。

第三，食物特异的抑制控制训练可以显著降低失败限制性饮食个体的对不健康食物的选择频率以及对不健康食物自我报告的吸引力和喜爱程度(刘豫 等, 2017)。抑制控制可以促进工作记忆刷新，那么食物特异的抑制控制训练是否可以显著提高超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新，促进其健康饮食行为的养成。基于此，本项目拟解决的最后一个关键科学问题是从食物特异工作记忆刷新的视角，探讨超重/肥胖问题的有效干预技术和方法。

综上，本项目围绕“超重/肥胖个体食物特异工作记忆”展开。研究包含三个部分。本项目使用 n-back 任务，聚焦工作记忆刷新能力。第一部分采用脑电技术从时间动态和神经振荡视角考察超重/肥胖个体一般和食物特异工作记忆刷新的神经电生理机制，并探讨超重/肥胖个体一般和食物特异工作记忆刷新是否具有相同的行为和神经模式；在此基础上，第二部分采用功能磁共振技术(fMRI)从大脑空间激活的视角探索食物特异工作记忆刷新及其神经基础与个体饮食管理和体质变化间的渐变关系；第三部分基于食物特异抑制控制训练，以工作记忆为靶点，从应用的视角探索食物特异抑制控制训练对超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新的有效提升作用，以期为超重/肥胖问题的有效干预提供科学和实践基础，明确其转化的应用价值。本项目的研究设计环环相扣，研究逻辑层层递进。

4 研究构想

本项目拟以工作记忆为研究的突破口，采用横断研究、前瞻性研究和干预研究相结合的研究设计，聚焦工作记忆刷新，分别从时间动态和神经振荡、大脑空间激活和应用的视角开展研究，旨在：(1)揭示超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新的认知神经机制；(2)揭示食物特异工作记忆刷新及其神经活动与个体饮食管理和体质变化间的渐变关系；(3)探索食物特异抑制控制训练对超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新的有效提高，塑造其健康饮食行为习惯。具体开展以下三个部分的研究内容，总体框架如图 1 所示：

4.1 超重/肥胖个体工作记忆的神经电生理活动

研究 1 采用脑电技术从时间动态和神经振荡的视角旨在探明超重/肥胖个体工作记忆刷新的

chinaXiv:202310.00231v1

ChinaXiv合作期刊

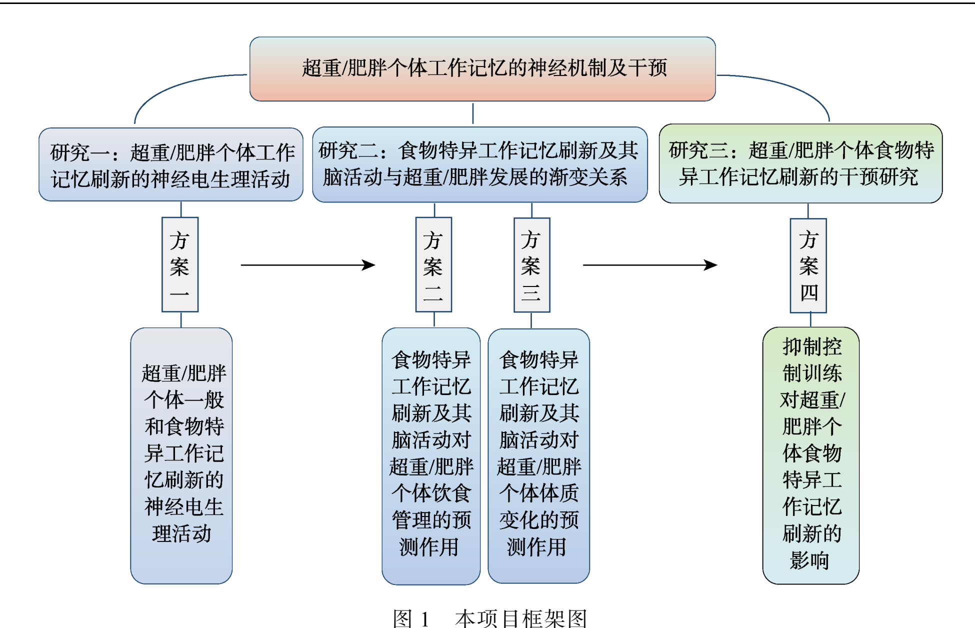


图 1　本项目框架图

神经电生理活动。拟探明超重/肥胖个体工作记忆刷新的认知神经机制。该部分包含 1 个脑电实验(方案 1), 采用一般刺激的 2-back 任务和食物特异的 2-back 任务, 考察超重/肥胖个体一般和食物特异工作记忆刷新的大脑活动时程特点, 并进一步探讨超重/肥胖个体一般和食物特异工作记忆刷新是否具有相同的行为和神经模式。本研究采用 2 (被试类型：超重/肥胖个体和正常体重个体) × 3 (刺激类型：高热量、低热量食物图片和一般刺激)混合实验设计。其中被试类型为组间变量, 刺激类型为组内变量。食物特异 2-back 任务中的高低热量食物图片选取自本团队开发的食物图片库(下同, Kong et al., 2015; Liu, Quan et al., 2019; Liu et al., 2020)。食物 2-back 任务前后, 要求所有被试对食物图片的愉悦度(liking)和渴望度(wanting)进行 5 点主观评定, 此为了控制任务前后被试的食物愉悦度和渴望度。本研究假设超重/肥胖个体在工作记忆任务中的表现显著差于正常体重个体, 其神经表征可能是 N2 振幅、P3 振幅以及 theta, alpha 能量等的变化。另外, 由于食物的奖赏效应, 超重/肥胖个体一般和食物特异工作记忆刷新可能具有不同的神经模式。

4.2　食物特异工作记忆及其脑活动与超重/肥胖发展的渐变关系

研究 2 从大脑激活的视角探讨食物特异工作记忆刷新及其脑活动与超重/肥胖发展的渐变关系。本研究综合横断和前瞻性设计并采用 fMRI 技术, 包含 2 个实验。方案 2 探讨食物特异工作记忆刷新及其脑活动对超重/肥胖个体饮食管理的预测作用。方案 3 探讨食物特异工作记忆刷新及其脑活动对超重/肥胖个体体质变化的预测效应。本研究的横断面采用 2 (被试类型：超重/肥胖个体和正常体重个体) × 2 (刺激类型：高热量和低热量食物图片)混合实验设计。其中被试类型为组间变量, 刺激类型为组内变量。本研究结合抑制控制能力改编食物 1-back 任务, 该任务不仅需要被试的工作记忆刷新能力, 还需要涉及抑制控制能力。在本任务中, 要求被试对出现的刺激进行尽快按键反应(背景任务), 如果当前试次出现的刺激与上一试次的刺激完全相同, 则需要被试抑制自己的反应(记忆任务)。工作记忆刷新任务的前后要求被试对食物图片进行愉悦度(liking)和渴望度(wanting)的评定。横断任务完成后, 对被试的饮食行为进行为期一周的跟踪调查, 每天随机向被试发放 7 次有关饮食管理的问题, 收集被试的饮食管理情况。实验完成 6 个月后, 再次邀请所有被试到实验室, 测量和收集被试的人体成分信息(BMI、腰臀比和体脂率等)。本研究假设超重/肥胖个体的工作记忆任务刷新表现差于正常体重个体, 且较好的食物特异工作记忆刷新可以预测较成功的饮食管理和较小的 BMI 和腰臀比等。另外, 与正常体重个体相比, 超重/肥胖个体控制相

chinaXiv:202310.00231v1

ChinaXiv合作期刊

关脑区的激活较小，但是奖赏相关脑区激活较大。食物特异工作记忆任务中控制相关脑区较大的激活可以预测较成功的饮食管理和较小的BMI、腰臀比等，食物特异工作记忆刷新任务中奖赏相关脑区较大的激活则预测不成功的饮食管理和较大的BMI、腰臀比等。

4.3 超重/肥胖个体食物特异工作记忆的干预研究

在前两个研究的基础上，研究 3 从应用视角拟探索超重/肥胖问题的有效干预技术和方法。采用食物抑制控制训练(方案 4)，并结合 fMRI 技术，重点考察食物特异抑制控制训练对超重/肥胖个体食物特异工作记忆刷新的有效提升作用。采用2(被试分组：食物特异抑制控制训练组和一般抑制控制训练组)×2(测试：前测和后测)×2(刺激：高热量和低热量食物图片)的混合实验设计。其中被试分组为组间变量，测试和刺激为组内变量。本研究的任务同研究 2 部分(食物 1-back 任务)。食物特异抑制控制训练采用食物 go/no-go 任务，go 刺激为花朵图片，no-go 刺激为高热量食物图片，要求被试看到花朵图片时立即进行按键反应，看到高热量食物图片时抑制自己的反应。一般抑制控制训练采用辅音字母“M”和“W”。要求被试看到“M”时进行尽快按键反应(go)，看到“W”则抑制自己的按键反应。该任务其他设置与食物特异抑制控制训练相同。本研究假设一般抑制控制训练和食物特异抑制控制训练均可以显著改善超重/肥胖个体食物特异工作记忆表现，但是食物特异抑制控制训练的效果较好。一般抑制控制训练和食物特异抑制控制训练均可增强超重/肥胖个体在食物特异工作记忆中涉及到的控制相关脑区的活动，但是两种训练对神经活动可能具有不同的影响。

5 理论建构

以往围绕工作记忆开展的研究大多是行为层面的，且较多关注一般工作记忆(Goldschmidt et al., 2017; Wu et al., 2016; Yau et al., 2014)。超重/肥胖个体食物特异的工作记忆的表现如何？超重/肥胖个体一般和食物特异的工作记忆是否具有相同的行为和神经模式。因此，本项目从工作记忆的视角理解超重/肥胖执行功能的损伤，探讨超重/肥胖个体食物工作记忆的神经机制及干预。以工作记忆为靶点通过食物抑制控制训练改善超重/肥胖个体的食物特异工作记忆能力，从而塑造健康的饮食方式。

围绕这一研究主题与目的，本项目设计了三个部分的研究。首先，明确超重/肥胖个体一般和食物特异工作记忆的表现及其神经模式。基于这一研究目的，研究拟采用一般刺激的 n-back 任务和食物特异 n-back 任务，考察超重/肥胖个体一般工作记忆和食物特异工作记忆的大脑活动时程和神经振荡特点，并进一步探讨超重/肥胖个体一般工作记忆和食物特异工作记忆是否具有相同的行为和神经模式。我们预期超重/肥胖个体执行一般工作记忆和食物特异工作记忆的能力差于正常体重个体；基于申请人以往关于超重/肥胖个体食物模式的研究(Liu et al., 2020; Liu, Quan et al., 2019; Liu, Zhao et al., 2019)，由于食物具有奖赏效应，所以超重/肥胖个体一般和食物特异的工作记忆可能具有不同的神经模式。研究 1 作为整个项目的基础，不仅证明超重/肥胖个体工作记忆能力的降低，而且初步探究一般和食物特异工作记忆的神经模式。通过研究 1，本项目拟探明超重/肥胖个体工作记忆的认知神经机制。

其次，考察工作记忆及其神经基础与个体饮食管理和体质变化之间的渐变关系，探讨食物工作记忆及其神经基础对个体饮食管理和体质变化的预测作用。以往研究显示脑区活动可以预测个体未来的饮食管理，而且对食物线索的注意可以预测个体未来的体重变化(Kaisari et al., 2019; Lopez et al., 2014; Lopez et al., 2016)。研究 2 拟结合横断和前瞻性的研究设计，采用改编的食物特异工作记忆任务(食物 1-back)重点考察食物工作记忆及其诱发的脑活动对个体未来饮食管理和体重变化的预测作用。我们预期超重/肥胖个体在执行复杂 1-back 任务中的表现仍然差于正常体重个体，且较好的食物特异工作记忆能力可以预测较成功的饮食管理和较小的 BMI 和腰臀比等；此外，与正常体重个体相比，超重/肥胖个体控制相关脑区的激活较小，但是奖赏相关脑区激活较大；食物特异工作记忆任务中控制相关脑区较大的激活可以预测较成功的饮食管理和较小的 BMI、腰臀比等。然而，食物特异工作记忆任务中奖赏相关脑区较大的激活则预测不成功的饮食管理和较大的 BMI、腰臀比等。通过研究 2，本项目拟刻画食物特异工作记忆及其脑活动与超重/肥胖发展的渐变关系。

chinaXiv:202310.00231v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202310.00231v1

抑制控制训练可以有效改善个体的饮食行为，降低个体的食物渴求，食物特异的抑制控制训练可以促进对不想要食物相关冲动的抑制控制(Houben & Jansen, 2015; Yang et al., 2019)。食物特异抑制控制训练还可以显著降低节食个体对不健康食物的选择频率及对不健康食物自我报告的吸引力和喜爱程度(刘豫　等, 2017)。因此，研究 3 采用抑制控制训练，并结合 fMRI 技术，重点考察食物特异抑制控制训练对超重/肥胖个体食物特异工作记忆的有效提升效应及其潜在的神经基础。我们预期一般抑制控制训练和食物特异抑制控制训练均可以显著改善超重/肥胖个体食物特异工作记忆表现，但是食物特异抑制控制训练的效果较好。此外，食物特异抑制控制训练可以促进超重/肥胖个体较健康的食物选择；一般抑制控制训练和食物特异抑制控制训练均可增强超重/肥胖个体在食物特异工作记忆中涉及到的控制相关脑区的活动，但是两种训练对神经模式可能具有不同的影响。通过研究 3，本项目拟探索超重/肥胖问题有效的干预技术和方法。

综上，本项目聚焦食物特异工作记忆，从行为层面深入到神经机制层面，同时考察超重/肥胖个体认知加工时程的动态特征和大脑激活区域的空间特征，为澄清超重/肥胖个体的认知行为模式和神经心理机制，提供更加可靠的证据；探讨食物特异工作记忆及其脑活动与超重/肥胖发展的渐变关系，以期更完整地理解超重/肥胖个体的认知神经机制，为建立更为完整的超重/肥胖个体的神经心理的理论模型提供证据；并采用抑制控制训练干预超重/肥胖，为肥胖问题的有效解决提供实践基础，将基础研究成果创新性转化。

参考文献

库逸轩. (2019). 工作记忆的认知神经机制. *生理学报, 71*(1), 173−185.

刘豫, 陈红, 李书慧, 罗念. (2017). 在线抑制控制训练对失败的限制性饮食者不健康食物选择的改善. *心理学报, 49*(2), 219.

Allom, V., & Mullan, B. (2014). Individual differences in executive function predict distinct eating behaviours. *Appetite, 80*, 123−130. https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.05.007

Barrett, L. F., Tugade, M. M., & Engle, R. W. (2004). Individual differences in working memory capacity and dual-process theories of the mind. *Psychological Bulletin, 130*(4), 553−573. https://doi.org/10.1037/0033-2909.130.4.553

Batterink, L., Yokum, S., & Stice, E. (2010). Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: An fmri study. *Neuroimage, 52*(4), 1696−1703. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.059

Bonnefond, M., & Jensen, O. (2012). Alpha oscillations serve to protect working memory maintenance against anticipated distracters. *Current Biology, 22*(20), 1969−1974. https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.08.029

Bruce, A. S., Lepping, R. J., Bruce, J. M., Cherry, J. B. C., Martin, L. E., Davis, A. M., ... Savage, C. R. (2013). Brain responses to food logos in obese and healthy weight children. *The Journal of Pediatrics, 162*(4), 759−764. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.10.003

Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature, 386*(6625), 604−608. https://doi.org/10.1038/386604a0

Delgado-Rodríguez, R., Versace, F., Hernández-Rivero, I., Guerra, P., Fernández-Santaella, M. C., & Miccoli, L. (2022). Food addiction symptoms are related to neuroaffective responses to preferred binge food and erotic cues. *Appetite, 168*, 105687. https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105687

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135−168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Dohle, S., Diel, K., & Hofmann, W. (2018). Executive functions and the self-regulation of eating behavior: A review. *Appetite, 124*, 4−9. https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.041

Engle, R. W. (2018). Working memory and executive attention: A revisit. *Perspectives on Psychological Science, 13*(2), 190−193. https://doi.org/10.1177/1745691617720478

Fu, Y., Zhou, Y., Zhou, J., Shen, M., & Chen, H. (2021). More attention with less working memory: The active inhibition of attended but outdated information. *Science Advances, 7*(47), eabj4985. https://doi.org/10.1126/sciadv.abj4985

Gazzaley, A., Cooney, J. W., Rissman, J., & D'esposito, M. (2005). Top-down suppression deficit underlies working memory impairment in normal aging. *Nature Neuroscience, 8*(10), 1298−1300. https://doi.org/10.1038/nn1543

Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997). High-resolution eeg mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of

ChinaXiv合作期刊

processing, and practice. *Cerebral Cortex, 7*(4), 374−385. https://doi.org/10.1093/cercor/7.4.374

Goldschmidt, A. B., O'Brien, S., Lavender, J. M., Pearson, C. M., Le, G. D., & Hunter, S. J. (2017). Executive functioning in a racially diverse sample of children who are overweight and at risk for eating disorders. *Appetite, 124*, 43−49. https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.010

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology Of Learning And Motivation, 22*, 193−225. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60041-9

Hofmann, W., Gschwendner, T., Friese, M., Wiers, R. W., & Schmitt, M. (2008). Working memory capacity and self-regulatory behavior: Toward an individual differences perspective on behavior determination by automatic versus controlled processes. *Journal of Personality and Social Psychology, 95*(4), 962−977. https://doi.org/10.1037/a0012705

Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(3), 174−180. https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006

Houben, K., & Jansen, A. (2015). Chocolate equals stop. Chocolate-specific inhibition training reduces chocolate intake and go associations with chocolate. *Appetite, 87*, 318−323. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.01.005

Janssen, L. K., Duif, I., van Loon, I., Wegman, J., de Vries, J. H. M., Cools, R., & Aarts, E. (2017). Loss of lateral prefrontal cortex control in food-directed attention and goal-directed food choice in obesity. *Neuroimage, 146*, 148−156. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.015

Jensen, O., Gelfand, J., Kounios, J., & Lisman, J. E. (2002). Oscillations in the alpha band (9−12 hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cerebral Cortex, 12*(8), 877−882. https://doi.org/10.1093/cercor/12.8.877

Kaisari, P., Kumar, S., Hattersley, J., Dourish, C. T., Rotshtein, P., & Higgs, S. (2019). Top-down guidance of attention to food cues is enhanced in individuals with overweight/obesity and predicts change in weight at one-year follow up. *International Journal of Obesity, 43*(9), 1849−1858. https://doi.org/10.1038/s41366-018-0246-3

Killgore, W., Weber, M., Schwab, Z., Kipman, M., DelDonno, S., Webb, C., & Rauch, S. (2013). Cortico-limbic responsiveness to high-calorie food images predicts weight status among women. *International Journal of Obesity, 37*(11), 1435−1442. https://doi.org/10.1038/ijo.2013.26

Kong, F., Zhang, Y., & Chen, H. (2015). Inhibition ability of food cues between successful and unsuccessful restrained eaters: A two-choice oddball task. *PLoS One*, *10*(7), e0133942. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133942

Kopell, N., Whittington, M. A., & Kramer, M. A. (2011). Neuronal assembly dynamics in the beta1 frequency range permits short-term memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(9), 3779−3784. https://doi.org/10.1073/pnas.1019676108

Lamichhane, B., Westbrook, A., Cole, M. W., & Braver, T. S. (2020). Exploring brain-behavior relationships in the n-back task. *Neuroimage, 212*, 116683. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116683

Li, S., Cai, Y., Liu, J., Li, D., Feng, Z., Chen, C., & Xue, G. (2017). Dissociated roles of the parietal and frontal cortices in the scope and control of attention during visual working memory. *Neuroimage, 149*, 210−219. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.01.061

Liu, Y., Gao, X., Zhao, J., Zhang, L., & Chen, H. (2020). Neurocognitive correlates of food-related response inhibition in overweight/obese adults. *Brain Topography, 33*(1), 101−111. https://doi.org/10.1007/s10548-019-00730-y

Liu, Y., Quan, H., Song, S., Zhang, X., & Chen, H. (2019). Decreased conflict control in overweight chinese females: Behavioral and event-related potentials evidence. *Nutrients, 11*(7), 1450. https://doi.org/10.3390/nu11071450

Liu, Y., Zhao, J., Zhang, X., Gao, X., & Chen, H. (2019). Overweight adults are more impulsive than normal weight adults: Evidence from erps during a chocolate-related delayed discounting task. *Neuropsychologia, 133*, 107181. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107181

Loeber, S., Grosshans, M., Korucuoglu, O., Vollmert, C., Vollstädt-klein, S., Schneider, S., ... Kiefer, F. (2012). Impairment of inhibitory control in response to food-associated cues and attentional bias of obese participants and normal-weight controls. *International Journal of Obesity, 36*(10), 1334−1339. http://doi.org/10.1038/ijo.2011.184

Lopez, R. B., Chen, P.-H. A., Huckins, J. F., Hofmann, W., Kelley, W. M., & Heatherton, T. F. (2017). A balance of activity in brain control and reward systems predicts self-regulatory outcomes. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 12*(5), 832−838. https://doi.org/10.1093/scan/nsx004

Lopez, R. B., Hofmann, W., Wagner, D. D., Kelley, W. M., & Heatherton, T. F. (2014). Neural predictors of giving in to temptation in daily life. *Psychological Science, 25*(7), 1337−1344. https://doi.org/10.1177/0956797614531492

Lopez, R. B., Milyavskaya, M., Hofmann, W., & Heatherton, T. F. (2016). Motivational and neural correlates of

chinaXiv:202310.00231v1

ChinaXiv合作期刊

self-control of eating: A combined neuroimaging and experience sampling study in dieting female college students. *Appetite, 103*, 192−199. https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.03.027

Lundqvist, M., Herman, P., Warden, M. R., Brincat, S. L., & Miller, E. K. (2018). Gamma and beta bursts during working memory readout suggest roles in its volitional control. *Nature Communication, 9*(1), 394. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02791-8

Meng, X., Huang, D., Ao, H., Wang, X., & Gao, X. (2020). Food cue recruits increased reward processing and decreased inhibitory control processing in the obese/overweight: An activation likelihood estimation meta-analysis of fmri studies. *Obesity Research & Clinical Practice, 14*(2), 127−135. https://10.1016/j.orcp.2020.02.004

Meule, A., Kübler, A., & Blechert, J. (2013). Time course of electrocortical food-cue responses during cognitive regulation of craving. *Frontiers in Psychology, 4*, 669. https://10.3389/fpsyg.2013.00669

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24*(1), 167−202. https://10.1146/annurev.neuro.24.1.167

Miller, E. K., Lundqvist, M., & Bastos, A. M. (2018). Working memory 2.0. *Neuron, 100*(2), 463−475. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.09.023

Murdaugh, D. L., Cox, J. E., Cook III, E. W., & Weller, R. E. (2012). fMRI reactivity to high-calorie food pictures predicts short-and long-term outcome in a weight-loss program. *Neuroimage, 59*(3), 2709−2721. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.10.071

Ng, M., Fleming, T., Robinson, M., Thomson, B., Graetz, N., Margono, C., ... Gakidou, E. (2014). Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980−2013: A systematic analysis for the global burden of disease study 2013. *The Lancet, 384*(9945), 766−781. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60460-8

Perlstein, W. M., Dixit, N. K., Carter, C. S., Noll, D. C., & Cohen, J. D. (2003). Prefrontal cortex dysfunction mediates deficits in working memory and prepotent responding in schizophrenia. *Biological Psychiatry, 53*(1), 25−38. https://doi.org/10.1016/S0006-3223(02)01675-X

Raghavachari, S., Kahana, M. J., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Kirschen, M. P., Bourgeois, B., ... Lisman, J. E. (2001). Gating of human theta oscillations by a working memory task. *Journal of Neuroscience, 21*(9), 3175−3183. https://doi.org/10.1523/jneurosci.21-09-03175.2001

Rutters, F., Kumar, S., Higgs, S., & Humphreys, G. W. (2015). Electrophysiological evidence for enhanced representation of food stimuli in working memory. *Experimental Brain Research, 233*(2), 519−528. https://doi.org/10.1007/s00221-014-4132-5

Salazar, R., Dotson, N., Bressler, S., & Gray, C. (2012). Content-specific fronto-parietal synchronization during visual working memory. *Science, 338*(6110), 1097−1100. https://doi.org/10.1126/science.1224000

Spitzer, B., Fleck, S., & Blankenburg, F. (2014). Parametric alpha-and beta-band signatures of supramodal numerosity information in human working memory. *Journal of Neuroscience, 34*(12), 4293−4302. https://doi.org/10.1523/jneurosci.4580-13.2014

Stice, E., & Burger, K. (2019). Neural vulnerability factors for obesity. *Clinical Psychology Review, 68*, 38−53. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2018.12.002

Stingl, K. T., Kullmann, S., Ketterer, C., Heni, M., Häring, H.-U., Fritsche, A., & Preissl, H. (2012). Neuronal correlates of reduced memory performance in overweight subjects. *NeuroImage, 60*(1), 362−369. /https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.012

Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature, 438*(7067), 500−503. https://doi.org/10.1038/nature04171

Whitelock, V., Nouwen, A., van den Akker, O., & Higgs, S. (2018). The role of working memory sub-components in food choice and dieting success. *Appetite, 124*, 24−32. https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.043

Wu, X., Nussbaum, M. A., & Madigan, M. L. (2016). Executive function and measures of fall risk among people with obesity. *Perceptual And Motor Skills, 122*(3), 825−839. https://doi.org/10.1177/0031512516646158

Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals: A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 84*, 225−244. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.020

Yang, Y., Shields, G. S., Wu, Q., Liu, Y., Chen, H., & Guo, C. (2019). Cognitive training on eating behaviour and weight loss: A meta‐analysis and systematic review. *Obesity Reviews, 20*(11), 1628−1641. https://doi.org/10.1111/obr.12916

Yau, P. L., Kang, E. H., Javier, D. C., & Convit, A. (2014). Preliminary evidence of cognitive and brain abnormalities in uncomplicated adolescent obesity. *Obesity, 22*(8), 1865−1871. https://doi.org/10.1002/oby.20801

Yokum, S., Ng, J., & Stice, E. (2011). Attentional bias to food images associated with elevated weight and future weight gain: An fmri study. *Obesity, 19*(9), 1775−1783. https://doi.org/10.1038/oby.2011.168

chinaXiv:202310.00231v1

ChinaXiv合作期刊

Zacks, T. R., & Hasher, L. (2006). Aging and long-term memory: Deficits are not inevitable. *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change* (pp. 162−177). Oxford Academic, https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0011

Zhao, J., Long, Z., Li, Y., Qin, Y., & Liu, Y. (2022). Alteration of regional heterogeneity and functional connectivity for obese undergraduates: Evidence from resting-state fMRI. *Brain Imaging And Behavior*, *16*(2), 627−636. https://doi.org/10.1007/s11682-021-00542-4

Neural mechanism of food-related working memory in individuals with overweight/obesity and related intervention

LIU Yong[1,2], CHEN Hong[1,2,3]

([1] *School of Psychology, Southwest University;* [2] *Key Laboratory of Cognition and Personality (Ministry of Education), Southwest University;* [3] *Research Center of Psychology and Social Development, Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*)

Abstract: Overweight/obesity is rapidly increasing globally, and the World Health Organization identified obesity as a global epidemic in 1997. Currently, the prevalence of overweight and obesity among Chinese adults has exceeded 50%, while unhealthy eating habits account for 70% of the cause. The project aims to explore food-related working memory in overweight/obesity individuals. The project will explore the neural mechanism of food-related working memory in individuals with overweight/obesity and examine potential differences in the neural pattern between general working memory and food-related working memory. Secondly, we will examine the co-changing relationship between food-related working memory and overweight/obesity using a prospective design. More specifically, to investigate the predictive role of food-related working memory and related neural activities on individuals' dietary management and physical health. Finally, the project will utilize food-related inhibition training to improve food-related working memory and foster healthy eating behaviors in individuals with overweight/obesity. This project aims to explore a safe and effective method for developing healthy eating behavior, which is both realistic and foreseeable, while providing theoretical and practical suggestions for the prevention and intervention of overweight/obesity.

Keywords: working memory, cognitive control, overweight/obesity, cognitive neural mechanism, intervention

chinaXiv:202310.00231v1